

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002082251
PUBLICATION DATE : 22-03-02

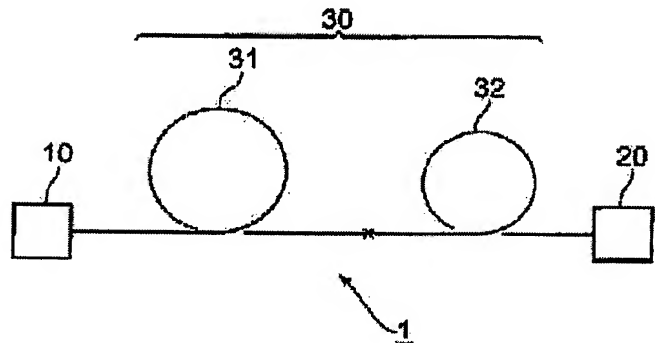
APPLICATION DATE : 19-06-01
APPLICATION NUMBER : 2001185165

APPLICANT : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD;

INVENTOR : KATO TAKATOSHI;

INT.CL : G02B 6/22 G02B 6/17 H04B 10/02
H04B 10/18

TITLE : OPTICAL FIBER, OPTICAL
TRANSMISSION LINE AND
DISPERSION COMPENSATION
MODULE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a dispersion compensating optical fiber or the like capable of compensating the wavelength dispersion and dispersion slope of a non-zero dispersion shifting optical fiber by short length.

SOLUTION: In an optical transmission system 1, an optical transmission line 30 is laid in a repeating section between both stations 10, 20. The line 30 is composed of connecting a dispersion shifting optical fiber 31 and dispersion compensating optical fiber 32 by fusion. In the fiber 31, wavelength dispersion in 1550 nm wavelength is +2 ps/nm/km to +10 ps/nm/km and the dispersion slope is +0.04 ps/nm²/km to +0.12 ps/nm²/km. In the fiber 32, wavelength dispersion DDCF (unit: ps/nm/km) and dispersion slope SDCF (unit: ps/nm²/km) in 1550 nm wavelength respectively satisfy relational expressions $-250 \leq DDCF \leq -40$ and $0.015 \leq SDCF/DDCF \leq 0.030$.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(18) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-82251

(P2002-82251A)

(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002.3.22)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	キーワード* (参考)
G 0 2 B 6/22		G 0 2 B 6/22	2 H 0 5 0
6/17		6/16	3 1 1 5 K 0 0 2
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M
10/18			

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-185165 (P2001-185165)
 (22) 出願日 平成13年6月19日 (2001.6.19)
 (31) 優先権主張番号 特願2000-189817 (P2000-189817)
 (32) 優先日 平成12年6月23日 (2000.6.23)
 (33) 優先権主張国 日本 (J P)

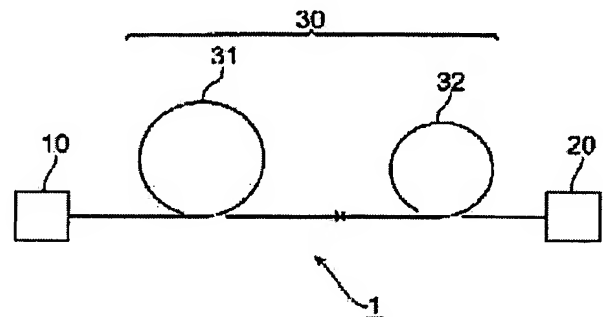
(71) 出願人 000002130
 住友電気工業株式会社
 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
 (72) 発明者 平野 正晃
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 (72) 発明者 加藤 考利
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
 (74) 代理人 100088155
 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)
 Fターム (参考) 2H050 AB08Y AB10Y AB18Y AC13
 AC38 AC44 AD01 AD16
 5K002 AA06 CA01 DA02 FA02

(54) 【発明の名称】 光ファイバ、光伝送路および分散補償モジュール

(57) 【要約】

【課題】 非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを短尺で補償することができる分散補償光ファイバ等を提供する。

【解決手段】 光伝送システム1は、局10と局20との間の中継区間に光伝送路30が敷設されている。光伝送路30は、分散シフト光ファイバ31と分散補償光ファイバ32とが融着接続されている。分散シフト光ファイバ31は、波長1550nmにおいて、波長分散が $+2\text{ps/nm/km} \sim +10\text{ps/nm/km}$ であり、分散スロープが $+0.04\text{ps/nm}^2/\text{km} \sim +0.12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である。分散補償光ファイバ32は、波長1550nmにおいて波長分散 D_{DCF} (単位: ps/nm/km) および分散スロープ S_{DCF} (単位: $\text{ps/nm}^2/\text{km}$) が $-250 \leq D_{DCF} \leq -40$ および $0.015 \leq S_{DCF}/D_{DCF} \leq 0.030$ なる関係式を満たす。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長1550nmにおいて波長分散 D_{DCF} (単位: $ps/nm/km$) および分散スロープ S_{DCF} (単位: $ps/nm^2/km$) が

$$-250 \leq D_{DCF} \leq -40$$

$$0.015 \leq S_{DCF}/D_{DCF} \leq 0.030$$

なる関係式を満たすことを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】 波長1550nmにおいて実効断面積が $13\mu m^2 \sim 17\mu m^2$ であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】 波長1550nmにおいて実効断面積が $17\mu m^2 \sim 20\mu m^2$ であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項4】 波長1550nmにおいて実効断面積が $20\mu m^2$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項5】 カットオフ波長が $1.2\mu m \sim 1.8\mu m$ であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項6】 波長1550nmにおいて伝送損失が $0.5dB/km$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項7】 第1の屈折率を有する中心コア領域と、この中心コア領域を取り囲み前記第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する第1クラッド領域と、この第1クラッド領域を取り囲み前記第2の屈折率より大きい第3の屈折率を有する第2クラッド領域と、この第2クラッド領域を取り囲み前記第3の屈折率より小さい第4の屈折率を有する第3クラッド領域とを有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項8】 最外層の領域の屈折率を基準としたときの前記中心コア領域の屈折率差が $0.8\% \sim 2.0\%$ であることを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【請求項9】 最外層の領域の屈折率を基準としたときの前記第1クラッド領域の屈折率差が -0.4% 以下であることを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【請求項10】 各領域の外径の比が一定に保たれたまま前記中心コア領域の外径の2%の変化に対して比 (S_{DCF}/D_{DCF}) の変化が10%以下であることを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【請求項11】 最外層の領域はF元素、P元素およびCl元素の何れかが添加された石英ガラスであることを特徴とする請求項7記載の光ファイバ。

【請求項12】 伝搬する光の偏波状態を保持する偏波保持手段を有することを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項13】 波長1550nmにおいて、波長分散が $+2ps/nm/km \sim +10ps/nm/km$ であり、分散スロープが $10.04ps/nm^2/km \sim 10.12ps/nm^2/km$ である分散シフト光ファイバと、

この分散シフト光ファイバと接続された請求項1記載の光ファイバと、

が中継区間に敷設されていることを特徴とする光伝送路。

【請求項14】 前記光ファイバにラマン増幅用励起光を供給して、前記光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅することを特徴とする請求項13記載の光伝送路。

【請求項15】 波長1535nm \sim 1560nmで平均波長分散の偏差が $\pm 0.2ps/nm/km$ 以下であることを特徴とする請求項13記載の光伝送路。

【請求項16】 請求項1記載の光ファイバがコイル状に巻かれてモジュール化されたものであることを特徴とする分散補償モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを補償する光ファイバ(以下「分散補償光ファイバ」と言う。)、これらの分散シフト光ファイバと分散補償光ファイバとを含む光伝送路、および、この分散補償光ファイバがコイル状に巻かれてモジュール化された分散補償モジュールに関するものである。

【0002】

【従来の技術】波長多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)光伝送を行う光伝送システムにおいて、光通信の更なる高速化・大容量化を図るには、広い信号光波長帯域において光伝送路の累積波長分散の絶対値をできる限り小さくすることが重要である。一般には、1種類の光ファイバのみを用いた光伝送路では困難であるので、複数種類の光ファイバを接続して光伝送路を構成することで、広帯域での光伝送路の累積波長分散の絶対値の低減が図られている。

【0003】例えば、特開平6-11620号公報には、波長 $1.3\mu m$ 付近に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバ(SMF: Single Mode Fiber)と、この標準的なシングルモード光ファイバの波長1550nmにおける波長分散を補償する分散補償光ファイバ(DCF: Dispersion Compensating Fiber)とを接続して、これらが接続されて構成されてなる光伝送路の波長 $1.55\mu m$ 帯での累積波長分散の絶対値の低減を図る技術が開示されている。

【0004】また、米国特許第5,838,867号明細書には、波長1550nmで正の小さい波長分散を有する非零分散シフト光ファイバ(NZDSF: Non-Zero Dispersion Shift Fiber)と、この分散シフト光ファイバの波長1550nmにおける波長分散および分散スロープを補償する分散補償光ファイバとを接続して、これらが接続されて構成されてなる光伝送路の波長 $1.55\mu m$ 帯での累積波長分散の絶対値の低減を図る技術が開示されている。

【0005】ここで、標準的なシングルモード光ファイバ(SMF)の波長1550nmにおける波長分散を D_{SMF} と表し分散スロープを S_{SMF} と表す。非零分散シフト光ファイバ(NZDSF)の波長1550nmにおける波長分散を D_{DSF} と表し分散スロープを S_{DSF} と表す。また、分散補償光ファイバ(DCF)の波長1550nmにおける波長分散を D_{DCF} と表し分散スロープを S_{DCF} と表す。このとき、波長1550nmを含む広帯域で光伝送路の累積波長分散の絶対値の低減を図る為には、標準的なシングルモード光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償する分散補償光ファイバ(以下では「SMF用分散補償光ファイバ」という。)では、波長分散 D_{DCF} と分散スロープ S_{DCF} との比(S_{DCF}/D_{DCF})は、シングルモード光ファイバの波長分散 D_{SMF} と分散スロープ S_{SMF} との比(S_{SMF}/D_{SMF})と略等しいことが要求される。また、分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償する分散補償光ファイバ(以下では「DSF用分散補償光ファイバ」という。)では、波長分散 D_{DCF} と分散スロープ S_{DCF} との比(S_{DCF}/D_{DCF})は、分散シフト光ファイバの波長分散 D_{DSF} と分散スロープ S_{DSF} との比(S_{DSF}/D_{DSF})と略等しいことが要求される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】標準的なシングルモード光ファイバと比較して、分散シフト光ファイバは、波長1550 nmにおいて比(S_{DCF}/D_{DCF})が大きい。したがって、SMD用分散補償光ファイバと比較して、DSD用分散補償光ファイバは、波長1550 nmにおいて比(S_{DCF}/D_{DCF})が大きいことが必要である。

【0007】特開平6 11620号公報に開示されたSMF用分散補償光ファイバは、波長1.3 μm 付近に零分散波長を有し波長1550 nmにおいて大きな波長分散を有する標準的なシングルモード光ファイバの波長分散を補償するものであって、絶対値が大きな負の波長分散を有している。したがって、このSMF用分散補償光ファイバは、標準的なシングルモード光ファイバの波長分散を補償する上では好適である。しかし、このSMF用分散補償光ファイバは分散スロープを補償するには充分ではない。

【0008】一方、米国特許第5,838,867号明細書に開示されたDSF用分散補償光ファイバは、波長1550nmで正の小さい波長分散を有する非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償することができる。しかし、このDSF用分散補償光ファイバは波長分散の絶対値が小さいことから、非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープの双方を補償するには長尺のDSF用分散補償光ファイバが必要となる。

【0009】また、例えば、文献1「S. Bigo, et al., "1.5 Terabit/s WDM transmission of 150 channels at

10 Gbit/s over 4x100km of TeraLight™ fibre", EOC'99, PD (1999)」に記載された非零分散シフト光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散が+8ps/nm/kmであり、分散スロープが+0.06ps/nm²/kmである。また、文献2「D. W. Peckham, et al., "Reduced dispersion slope, non-zero dispersion fiber", EOC'98, pp.139-140 (1998)」に記載された非零分散シフト光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散が+4ps/nm/kmであり、分散スロープが+0.046ps/nm²/kmである。また、文献3「V. L. da Silva, et al., "Error free WDM transmission of 8x10 Gbit/s over km of LEAF™ Optical Fiber", EOC'97, No.448, pp.154-158 (1997)」に記載された非零分散シフト光ファイバは、零分散波長が1506nm~1514nmであって、波長1550nmにおいて、波長分散が約+4~5ps/nm/kmであり、分散スロープが約+0.1ps/nm²/kmである。これらの文献に記載されている非零分散シフト光ファイバ80kmの波長分散を補償するには、長さ8km~16kmものDSF用分散補償光ファイバが必要であり、また、このとき、波長分散を補償すると同時に分散スロープをも十分に補償することができない。

【0010】ところで、一般に、DSF用分散補償光ファイバは、僅かの曲げでも基底モード光が漏洩し易く、基底モード光の曲げ損失が大きいので、ケーブル化して敷設またはコイル等に巻き付けて分散補償モジュール化すると伝送損失が大きくなる。したがって、分散シフト光ファイバとDSF用分散補償光ファイバとを接続して構成される光伝送路に信号光を伝搬させて光通信を行う光伝送システムでは、光伝送路での伝送損失が大きいことから、中継区間を長くすることができず、光通信の更なる高速化・大容量化を図ることができない。

【0011】本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、非零分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを短尺で補償することができる分散補償光ファイバ、これらの分散シフト光ファイバと分散補償光ファイバとを含み伝送損失が小さい光伝送路、および、この分散補償光ファイバがコイル状に巻かれてモジュール化されて伝送損失が小さい分散補償モジュールを提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて波長分散 D_{DCF} （単位： $ps/nm/km$ ）および分散スロープ S_{DCF} （単位： $ps/nm^2/km$ ）が

$$-250 \leq D_{\text{max}} \leq -40$$

$$0.015 \leq S_{\text{max}}/D_{\text{max}} \leq 0.030$$

なる関係式を満たすことを特徴とする。この光ファイバは、波長分散 D_{DCF} が負であって絶対値が大きく、波長分散 D_{DCF} と分散スロープ S_{DCF} との比: (S_{DCF}/D_{DCF})

の数値範囲が上記のとおりであることにより、波長1550nmを含む広い波長帯域で、分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを短尺で補償することができる。

【0013】また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて実効断面積が $13\mu\text{m}^2 \sim 17\mu\text{m}^2$ であることを特徴とする。この場合には、この光ファイバは、四光波混合の発生を抑制し、伝搬する信号光の波長の劣化を抑制することができる。また、この光ファイバは、曲げ損失が小さくなるので、ケーブルとしてもモジュール、としても使用することができる。

【0014】また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて実効断面積が $17\mu\text{m}^2 \sim 20\mu\text{m}^2$ であることを特徴とする。この場合には、この光ファイバは、信号光の波長の劣化を充分に抑制することができる。また、モジュールとして使用することができる。

【0015】また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて実効断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする。この場合には、この光ファイバは、信号光の波長の劣化を更に充分に抑制することができる。また、曲げ径が比較的大きい特殊なモジュールとして使用することができる。

【0016】また、本発明に係る光ファイバは、カットオフ波長(2m長のものを半径140mmにゆるく1回巻き付けた状態でのLP₁₁モードのカットオフ波長)が $1.2\mu\text{m} \sim 1.8\mu\text{m}$ であることを特徴とする。また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて伝送損失が 0.5dB/km 以下であることを特徴とする。この場合には、従来のものよりカットオフ波長が長いことから、曲げ損失の増大を抑制することができる。さらに、伝送損失の数値範囲が上記のとおりであることと相俟って、ケーブル化またはモジュール化した場合であっても低損失となる。

【0017】また、本発明に係る光ファイバは、第1の屈折率を有する中心コア領域と、この中心コア領域を取り囲み第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する第1クラッド領域と、この第1クラッド領域を取り囲み第2の屈折率より大きい第3の屈折率を有する第2クラッド領域と、この第2クラッド領域を取り囲み第3の屈折率より小さい第4の屈折率を有する第3クラッド領域とを有することを特徴とする。最外層の領域の屈折率を基準としたときの中心コア領域の屈折率差が $0.8\% \sim 2.0\%$ であることを特徴とする。また、最外層の領域の屈折率を基準としたときの第1クラッド領域の屈折率差が -0.4% 以下であることを特徴とする。これらの場合には、上記特性を有する光ファイバを実現する上で好適である。

【0018】また、本発明に係る光ファイバは、各領域(中心コア領域、第1クラッド領域、第2クラッド領域および第3クラッド領域)の外径の比が一定に保たれた

まま中心コア領域の外径の2%の変化に対して比 $(S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}})$ の変化が10%以下であることを特徴とする。この場合には、所望の波長分散特性を有する光ファイバを製造することが容易である。

【0019】また、本発明に係る光ファイバは、最外層の領域はF元素、F元素およびCl元素の何れかが添加された石英ガラスであることを特徴とする。この場合には、光ファイバ母材を線引きして光ファイバを製造する際に、光ファイバ母材の大部分を占める最外層の粘度が下がり、これにより線引温度を比較的低温にすることができるので、光ファイバの伝送損失を低減することができる。

【0020】また、本発明に係る光ファイバは、伝搬する光の偏波状態を保持する偏波保持手段を有することを特徴とする。この場合には、光ファイバを伝搬する信号光の偏波間で生じるランダムなカップリングを抑制することができるので、信号光の伝送品質の劣化を抑制することができる。

【0021】本発明に係る光伝送路は、波長1550nmにおいて波長分散が $+2\text{ps/nm/km} \sim +10\text{ps/nm/km}$ であり分散スロープが $+0.04\text{ps/nm}^2/\text{km} \sim +0.12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である分散シフト光ファイバと、この分散シフト光ファイバと接続された上記の本発明に係る光ファイバとが、中継区間に敷設されていることを特徴とする。この光伝送路は、分散シフト光ファイバと上記光ファイバとが適切な長さ比で接続されることにより、波長1550nmにおいて、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均分散スロープの絶対値も小さい。これにより、この光伝送路は、波長1550nmを含む広い波長帯域で、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均伝送損失も小さい。

【0022】また、本発明に係る光伝送路は、光ファイバにラマン増幅用励起光を供給して、光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅すること、を特徴とする。この場合には、上記光ファイバは、分散シフト光ファイバと比べると非線形性が大きいので、ラマン増幅用励起光が供給されることにより広帯域の信号光を効率よくラマン増幅することができる。

【0023】また、本発明に係る光伝送路は、波長1535nm \sim 1560nmで平均波長分散の偏差が $+0.2\text{ps/nm/km}$ 以下であることを特徴とする。この場合には、この光伝送路に信号光を伝搬させて光通信を行う光伝送システムでは、波長1550nmを含む広い波長帯域で、光伝送路の平均伝送損失が小さく、平均波長分散の絶対値も小さく、チャンネルあたりのビットレートが高い光伝送が可能である。

【0024】本発明に係る分散補償モジュールは、上記の本発明に係る光ファイバがコイル状に巻かれてモジュール化されたものであることを特徴とする。この分散補

倍モジュールは、心棒の周囲に光ファイバが巻かれたものであってもよいし、光ファイバが心棒を有することなく巻かれてその周囲に樹脂が充填されて固定されているものでもよい。この光ファイバがモジュール化された分散補償モジュールは、中継区間に敷設された分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを補償するものであって、分散シフト光ファイバと上記光ファイバとが適切な長さ比とされることにより、波長1550 nmにおいて、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均分散スロープの絶対値も小さい。これにより、分散シフト光ファイバと分散補償モジュールとの全体は、波長1550 nmを含む広い波長帯域で、平均波長分散の絶対値が小さくなり、平均伝送損失も小さい。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0026】図1は、本実施形態に係る光伝送路30を含む光伝送システム1の概略構成図である。この光伝送システム1は、局（送信局または中継局）10と局（受信局または中継局）20との間の中継区間に光伝送路30が敷設されたものである。この光伝送路30は、分散シフト光ファイバ31と分散補償光ファイバ32とが融着接続されたものである。この光伝送システム1では、局10から送出された波長1.55 μm帯の多波長の信号光は、分散シフト光ファイバ31および分散補償光ファイバ32を順に伝搬して局20に到達し、局20において受信され、或いは、局20において光増幅されて更に下流に送出される。

【0027】分散シフト光ファイバ31は、波長1550 nmで正の小さい波長分散を有する石英系の光ファイバである。この分散シフト光ファイバ31は、波長1550 nmにおいて、波長分散 D_{DCF} が $1.2 \text{ ps/nm/km} \sim 1.0 \text{ ps/nm/km}$ であり、分散スロープ S_{DCF} が $0.04 \text{ ps/nm}^2/\text{km} \sim 0.12 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、伝送損失が 0.20 dB/km 程度である。

【0028】本実施形態に係る分散補償光ファイバ32は、分散シフト光ファイバ31の波長1550 nmにおける波長分散および分散スロープを補償する石英系の光ファイバである。この分散補償光ファイバ32は、波長1550 nmにおいて、波長分散 D_{DCF} が $250 \text{ ps/nm/km} \sim 400 \text{ ps/nm/km}$ であり、波長分散 D_{DCF} と分散スロープ S_{DCF} との比 (S_{DCF}/D_{DCF}) が $0.015/\text{nm} \sim 0.030/\text{nm}$ である。また、この分散補償光ファイバ32は、波長1550 nmにおいて実効断面積が $13 \mu\text{m}^2$ 以上であり、カットオフ波長が $1.2 \mu\text{m} \sim 1.8 \mu\text{m}$ （より好適には $1.4 \mu\text{m} \sim 1.8 \mu\text{m}$ ）であり、波長1550 nmにおいて伝送損

失が 0.5 dB/km 以下である。

【0029】このような特徴を有する分散補償光ファイバ32は、波長分散 D_{DCF} および分散スロープ S_{DCF} の数値範囲が上記のとおりであることにより、波長1550 nmを含む広い波長帯域で、分散シフト光ファイバ31の波長分散および分散スロープを短尺で補償することができる。また、この分散補償光ファイバ32は、波長分散の数値範囲が上記のとおりであり実効断面積も充分であることにより、四光波混合の発生を抑制し、伝搬する信号光の波形の劣化を抑制することができる。また、この分散補償光ファイバ32は、カットオフ波長の数値範囲が上記のとおりであることにより、曲げ損失の増大を抑制することができ、さらに、伝送損失の数値範囲が上記のとおりであることと相俟って、ケーブル化した場合であっても光伝送路30が低損失となる。

【0030】特に、波長1550 nmにおける実効断面積が $13 \mu\text{m}^2 \sim 17 \mu\text{m}^2$ であれば、分散補償光ファイバ32は、四光波混合の発生を抑制し、伝搬する信号光の波形の劣化を抑制することができ、また、曲げ損失が小さくなるので、ケーブルとしてもモジュール、としても使用することができる。また、波長1550 nmにおける実効断面積が $17 \mu\text{m}^2 \sim 20 \mu\text{m}^2$ であれば、分散補償光ファイバ32は、信号光の波形の劣化を充分に抑制することができ、また、モジュールとして使用することができる。また、波長1550 nmにおける実効断面積が $20 \mu\text{m}^2$ 以上であれば、分散補償光ファイバ32は、信号光の波形の劣化を更に充分に抑制することができる。この分散補償光ファイバ32は、曲げ損失が発生し難い特殊な構造のモジュール、例えば、曲げ半径が比較的大きいコイルに収納されたモジュールや、心棒を有することなく巻かれて樹脂が充填されて固定された形態のモジュールに使用され得る。

【0031】分散シフト光ファイバ31と分散補償光ファイバ32とが適切な長さ比で接続された光伝送路30は、波長1550 nmにおいて、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均分散スロープの絶対値も小さい。これにより、光伝送路30は、波長1550 nmを含む広い波長帯域で全体の平均波長分散の絶対値が小さくなる。また、光伝送路30は全体の平均伝送損失も小さい。光伝送路30の全体の平均波長分散の偏差は、好適には波長帯域 $1535 \text{ nm} \sim 1560 \text{ nm}$ （Cバンド）において $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、より好適には波長帯域 $1535 \text{ nm} \sim 1600 \text{ nm}$ （CバンドおよびLバンド）において $\pm 0.2 \text{ ps/nm/km}$ 以下である。このような光伝送路30に信号光を伝搬させて光通信を行う光伝送システム1は、波長1550 nmを含む広い波長帯域（少なくともCバンドを含み、更にはLバンドをも含む波長帯域）で、光伝送路30の平均伝送損失が小さく、平均波長分散の絶対値も小さく、高ビットレート（例えば 40 Gbit/s で伝送距

離400km)の光伝送が可能である。したがって、この光伝送システム1は、中継区間を長くすることができ、光通信の更なる高速化・大容量化を図ることができる。

【0032】図2は、光伝送路として分散シフト光ファイバ31が敷設され、分散補償光ファイバ32が分散補償モジュールとして局20内に設けられた光伝送システム2の概略構成図である。この光伝送システム2は、局(送信局または中継局)10と局(受信局または中継局)20との間の中継区間に、光伝送路として分散シフト光ファイバ31が敷設されたものである。この光伝送システム2では、局10から送出された波長1.55 μ m帯の多波長の信号光は、光伝送路である分散シフト光ファイバ31を伝搬して局20に到達し、局20において、光増幅器21により光増幅され、分散補償モジュールとしての分散補償光ファイバ32により分散補償され、さらに光増幅器22により光増幅されて、その後受信され或いは更に下流に送出される。

【0033】図2の光伝送システム2において光伝送路として用いられている分散シフト光ファイバ31は、図1の光伝送システム1において光伝送路の一部として用いられている分散シフト光ファイバ31と同様の特徴を有するものである。また、図2の光伝送システム2において分散補償モジュールとして用いられている分散補償光ファイバ32は、図1の光伝送システム1において光伝送路の一部として用いられている分散補償光ファイバ32と同様の特徴を有するものである。ただし、図2に示す光伝送システム2においては、分散補償光ファイバ32は、コイル状に巻かれて分散補償モジュールとして局20内に設けられている。この分散補償モジュールは、心棒の周囲に分散補償光ファイバ32が巻かれたものであってもよいし、図15に示されるように、心棒を有することなく巻かれた分散補償光ファイバ32に樹脂が充填されて固定されていてもよい。図15(a)は分散補償モジュールの平面図であり、同図(b)は分散補償モジュールの断面図である。この図に示されるように、両端に光コネクタ1, 52が接続された分散補償光ファイバ32は、心棒を有すること無く巻かれて、樹脂40が充填されて固定される。このような構成とすることで、分散補償光ファイバ32に加わる応力が小さいので、マクロバンドやマイクロバンドに因る損失が抑制される。

【0034】既に述べた特徴を有する分散補償光ファイバ32は、波長分散 D_{DCF} および分散スロープ S_{DCF} の数値範囲が上記のとおりであることにより、波長1550nmを含む広い波長帯域で、分散シフト光ファイバ31の波長分散および分散スロープを短尺で補償することができる。また、この分散補償光ファイバ32は、波長分散の数値範囲が上記のとおりであり実効断面積も充分であることにより、四光波混合の発生を抑制し、伝搬する

信号光の波形の劣化を抑制することができる。また、この分散補償光ファイバ32は、カットオフ波長の数値範囲が上記のとおりであることにより、曲げ損失の増大を抑制することができる。さらに、伝送損失の数値範囲が上記のとおりであることと相俟って、モジュール化した場合であっても低損失となる。

【0035】光伝送路としての分散シフト光ファイバ31と分散補償モジュールとしての分散補償光ファイバ32との全体は、各々の長さを適切なものとすることにより、波長1550nmにおいて、平均波長分散の絶対値が小さく、平均分散スロープの絶対値も小さい。これにより、分散シフト光ファイバ31と分散補償光ファイバ32との全体は、波長1550nmを含む広い波長帯域で平均波長分散の絶対値が小さくなり、平均伝送損失も小さい。これら全体の平均波長分散の偏差は、好適には波長帯域1535nm~1560nm(Cバンド)において ± 0.2 ps/nm/km以下であり、より好適には波長帯域1535nm~1600nm(CバンドおよびLバンド)において ± 0.2 ps/nm/km以下である。

【0036】また、分散補償モジュールとしての分散補償光ファイバ32は、波長1550nmにおける分散補償量が -640 ps/nmであるときに、好適には波長帯域1535nm~1565nm(Cバンド)において総損失が7dB以下であり、より好適には波長帯域1535nm~1610nm(CバンドおよびLバンド)において総損失が7dB以下である。また、分散補償モジュールとしての分散補償光ファイバ32は、波長1550nmにおける分散補償量が -320 ps/nmであるときに、好適には波長帯域1535nm~1565nm(Cバンド)において総損失が3dB以下であり、より好適には波長帯域1535nm~1610nm(CバンドおよびLバンド)において総損失が3dB以下である。

【0037】この光伝送システム2は、波長1550nmを含む広い波長帯域(少なくともCバンドを含み、更にはLバンドをも含む波長帯域)で、平均伝送損失が小さく、平均波長分散の絶対値も小さく、高ビットレートの光伝送が可能である。したがって、この光伝送システム2は、中継区間を長くすることができ、光通信の更なる高速化・大容量化を図ることができる。

【0038】図3は、本実施形態に係る分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの第1の好適例を説明する図である。この図に示す屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバは、光軸中心を含む中心コア領域(最大屈折率 n_1 、外径 $2a$)と、この中心コア領域を取り囲む第1クラッド領域(屈折率 n_2 、外径 $2b$)と、この第1クラッド領域を取り囲む第2クラッド領域(屈折率 n_3 、外径 $2c$)と、この第2クラッド領域を取り囲む第3クラッド領域(屈折率 n_4)とを有している。各屈

折率の大小関係は $n_2 < n_4 < n_3 < n_1$ である。また、好適には、第3クラッド領域の屈折率 n_4 を基準として、中心コア領域の比屈折率差 Δn_1 が0.8%~2.0%であり、第1クラッド領域の比屈折率差 Δn_2 が-0.4%以下である。なお、第3クラッド領域の屈折率 n_4 を基準としたときの第2クラッド領域の比屈折率差を Δn_3 と表す。

【0039】このような屈折率プロファイルを有することにより、分散補償光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DCF} 、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) 、実効断面積、カットオフ波長および伝送損失それぞれが上記の数値範囲のものとなることができる。このような屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバは、石英ガラスをベースとして、例えば、中心コア領域および第2クラッド領域それぞれに GeO_2 を添加し、第1クラッド領域にF元素を添加するのが好適である。また、第3クラッド領域にはF元素、P元素またはC1元素を添加するのが好適である。このようにすることにより、図3に示す屈折率プロファイルを実現することができ、また、分散補償光ファイバの波長1550nmにおける伝送損失を低減することができる。

【0040】例えば、第1実施例の分散補償光ファイバとして、 $2a/2c=0.18$ 、 $2b/2c=0.56$ 、 $2c=21.0\mu m$ 、 $\Delta n_1=+1.6\%$ 、 $\Delta n_2=0.5\%$ 、 $\Delta n_3=-0.2\%$ とする。このとき、この第1実施例の分散補償光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DCF} が $-105 ps/nm/km$ であり、分散スロープ S_{DSF} が $1.97 ps/nm^2/km$ であり、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) が $0.019/nm$ であり、実効断面積が $17\mu m^2$ であり、曲げ径20mmφでの曲げ損失が $1.1 dB/m$ であり、カットオフ波長が $1.57\mu m$ である。

【0041】図4は、本実施形態に係る分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの第2の好適例を説明する図である。この図に示す屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバは、光軸中心を含む中心コア領域（最大屈折率 n_1 、外径 $2a$ ）と、この中心コア領域を取り囲む第1クラッド領域（屈折率 n_2 、外径 $2b$ ）と、この第1クラッド領域を取り囲む第2クラッド領域（屈折率 n_3 、外径 $2c$ ）と、この第2クラッド領域を取り囲む第3クラッド領域（屈折率 n_4 、外径 $2d$ ）と、この第3クラッド領域を取り囲む第4クラッド領域（屈折率 n_5 ）とを有している。各屈折率の大小関係は $n_1 > n_2$ 、 $n_2 < n_3$ 、 $n_3 > n_4$ 、 $n_4 < n_5$ である。また、好適には、第4クラッド領域の屈折率 n_5 を基準として、中心コア領域の比屈折率差 Δn_1 が0.8%~2.0%であり、第1クラッド領域の比屈折率差 Δn_2 が-0.4%以下である。なお、第4クラッド領域の屈折率 n_5 を基準としたときの第2クラッド領域の比屈折率差を Δn_3 と表し、第3クラッド領域の比屈折率差を Δn_4 と表す。

す。

【0042】このような屈折率プロファイルを有することにより、分散補償光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DCF} 、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) 、実効断面積、カットオフ波長および伝送損失それぞれが上記の数値範囲のものとなることができる。このような屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバは、石英ガラスをベースとして、例えば、中心コア領域および第2クラッド領域それぞれに GeO_2 を添加し、第1クラッド領域および第3クラッド領域それぞれにF元素を添加し、第4クラッド領域にF元素、P元素またはC1元素を添加するのが好適である。このようにすることにより、図4に示す屈折率プロファイルを実現することができ、また、分散補償光ファイバの波長1550nmにおける伝送損失を低減することができる。

【0043】例えば、第2実施例の分散補償光ファイバとして、 $2a/2d=0.15$ 、 $2b/2d=0.48$ 、 $2c/2d=0.88$ 、 $2d=24.6\mu m$ 、 $\Delta n_1=+1.6\%$ 、 $\Delta n_2=-0.5\%$ 、 $\Delta n_3=+0.2\%$ 、 $\Delta n_4=-0.1\%$ とする。このとき、この第2実施例の分散補償光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DCF} が $-130 ps/nm/km$ であり、分散スロープ S_{DSF} が $-2.39 ps/nm^2/km$ であり、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) が $0.018/nm$ であり、実効断面積が $18\mu m^2$ であり、曲げ径20mmφでの曲げ損失が $2.0 dB/m$ であり、カットオフ波長が $1.51\mu m$ であり、伝送損失が $0.38 dB/km$ である。

【0044】図5は、本実施形態に係る分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの第3の好適例を説明する図である。この図に示す屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバは、光軸中心を含む中心コア領域（最大屈折率 n_1 、外径 $2a$ ）と、この中心コア領域を取り囲む第1クラッド領域（屈折率 n_2 、外径 $2b$ ）と、この第1クラッド領域を取り囲む第2クラッド領域（屈折率 n_3 、外径 $2c$ ）と、この第2クラッド領域を取り囲む第3クラッド領域（屈折率 n_4 、外径 $2d$ ）と、この第3クラッド領域を取り囲む第4クラッド領域（屈折率 n_5 、外径 $2e$ ）と、この第4クラッド領域を取り囲む第5クラッド領域（屈折率 n_6 ）とを有している。各屈折率の大小関係は $n_1 > n_2$ 、 $n_2 < n_3$ 、 $n_3 > n_4$ 、 $n_4 < n_5$ 、 $n_5 > n_6$ である。また、好適には、第5クラッド領域の屈折率 n_6 を基準として、中心コア領域の比屈折率差 Δn_1 が0.8%~2.0%であり、第1クラッド領域の比屈折率差 Δn_2 が-0.4%以下である。なお、第5クラッド領域の屈折率 n_6 を基準としたときの第2クラッド領域の比屈折率差を Δn_3 と表し、第3クラッド領域の比屈折率差を Δn_4 と表し、第4クラッド領域の比屈折率差を Δn_5 と表す。

【0045】このような屈折率プロファイルを有すること

とにより、分散補償光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DCF} 、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) 、実効断面積、カットオフ波長および伝送損失それぞれが上記の数値範囲のものとなることができる。このような屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバは、石英ガラスをベースとして、例えば、中心コア領域、第2クラッド領域および第4クラッド領域それぞれに GeO_2 を添加し、第1クラッド領域にF元素を添加し、第3クラッド領域および第5クラッド領域それぞれにF元素、P元素またはC1元素を添加するのが好適である。このようにすることにより、図4に示す屈折率プロファイルを実現することができ、また、分散補償光ファイバの波長1550nmにおける伝送損失を低減することができる。

【0046】例えば、第3実施例の分散補償光ファイバとして、 $2a/2c=0.17$ 、 $2b/2c=0.48$ 、 $2c/2e=0.83$ 、 $2d/2e=0.95$ 、 $2e=24.7\mu m$ 、 $\Delta n_1=+1.6\%$ 、 $\Delta n_2=-0.5\%$ 、 $\Delta n_3=+0.2\%$ 、 $\Delta n_4=0\%$ 、 $\Delta n_5=+0.1\%$ とする。このとき、この第3実施例の分散補償光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DCF} が $-111ps/nm/km$ であり、分散スロープ S_{DCF} が $-2.01ps/nm^2/km$ であり、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) が $0.018/nm$ であり、実効断面積が $18\mu m^2$ であり、曲げ径20mm Φ での曲げ損失が $6.0dB/m$ であり、カットオフ波長が $1.53\mu m$ であり、伝送損失が $0.44dB/km$ である。

【0047】次に、各実施例の分散補償光ファイバの特性について図6～図11を用いて更に説明する。

【0048】図6は、各領域の外径の比を一定に保ったまま中心コア領域の外径 $2a$ を変化させたときの第1実施例の分散補償光ファイバの波長分散と分散スロープとの関係を示すグラフである。この第1実施例の分散補償光ファイバでは、中心コア領域の外径 $2a$ が上記の値から25%変化したとき、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) の変化が9.5%程度である。

【0049】図7は、各領域の外径の比を一定に保ったまま中心コア領域の外径 $2a$ を変化させたときの第2実施例の分散補償光ファイバの波長分散と分散スロープとの関係を示すグラフである。この第2実施例の分散補償光ファイバでは、中心コア領域の外径 $2a$ が上記の値から30%変化したとき、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) の変化が9.6%程度である。

【0050】図8は、各領域の外径の比を一定に保ったまま中心コア領域の外径 $2a$ を変化させたときの第3実施例の分散補償光ファイバの波長分散と分散スロープとの関係を示すグラフである。この第3実施例の分散補償光ファイバでは、中心コア領域の外径 $2a$ が上記の値から25%変化したとき、比 (S_{DCF}/D_{DCF}) の変化が9.2%程度である。

【0051】以上のように、各実施例の分散補償光ファイバは、中心コア領域の外径の2%の変化に対して比

(S_{DCF}/D_{DCF}) の変化が1%以下であり、所望の波長分散特性を有する分散補償光ファイバを製造することが極めて容易である。なお、各領域の外径の比が一定に保たれたまま中心コア領域の外径の2%の変化に対して比 (S_{DCF}/D_{DCF}) の変化が10%以下であれば、所望の波長分散特性を有する分散補償光ファイバを製造することが容易である。

【0052】図9は、各実施例の分散補償光ファイバの曲げ径140mm Φ での曲げ損失と波長との関係を示すグラフである。この図から判るように、各実施例の分散補償光ファイバとも、信号光の波長帯域である波長1.55 μm 帯では、曲げ径140mm Φ での曲げ損失は極めて小さい。

【0053】図10は、各実施例の分散補償光ファイバの波長分散と波長との関係を示すグラフである。また、この図は、分散シフト光ファイバ(NZ-DSF)の波長分散と波長との関係も示す。この分散シフト光ファイバは、波長1550nmにおいて、波長分散 D_{DSF} が $+4.5ps/nm/km$ であり、分散スロープ S_{DSF} が $+0.072ps/nm^2/km$ である。

【0054】図11は、各実施例の分散補償光ファイバと分散シフト光ファイバとを接続した光伝送路の波長分散と波長との関係を示すグラフである。ここで想定した分散シフト光ファイバは、図10に波長分散特性を示したものである。この図から判るように、何れの実施例の分散補償光ファイバを用いた場合にも、波長1550nmにおいて、光伝送路の波長分散の絶対値は極めて小さく、また、光伝送路の分散スロープの絶対値も極めて小さい。何れの実施例の分散補償光ファイバを用いた場合にも、波長1535nm～1560nmの範囲において、光伝送路の波長分散の偏差は $\pm 0.2ps/nm/km$ 以下である。

【0055】次に、第1実施例の分散補償光ファイバの組成について更に説明する。図12は、第1実施例の分散補償光ファイバの組成と屈折率プロファイルとの関係を説明する図である。同図(a)～(c)それぞれに示した屈折率プロファイルにおいては、第3クラッド領域の屈折率 n_4 を基準としたときの中心コア領域、第1クラッド領域および第2クラッド領域それぞれの比屈折率は、既に図3で説明したものと同様である。しかし、図中に破線で示した純石英ガラスの屈折率を基準としたときの各領域の比屈折率差は、領域の組成に応じて種々の態様があり得る。以下では、中心コア領域の比屈折率差 Δn_1 、第1クラッド領域の比屈折率差 Δn_2 、第2クラッド領域の比屈折率差 Δn_3 、および、第3クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 それぞれを、純石英ガラスの屈折率を基準としたときの値として示す。

【0056】図12(a)に示す屈折率プロファイルは、石英ガラスをベースとして、中心コア領域にGeO

を添加して比屈折率差 Δn_1 を $+1.41\%$ とし、第1コア領域にF元素を添加して比屈折率差 Δn_2 を -0.69% とし、第2コア領域にCl元素を添加して比屈折率差 Δn_3 を $+0.01\%$ とし、第3コア領域にF元素を添加して比屈折率差 Δn_4 を -0.19% としたものである。この屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバの伝送損失は 0.30 dB/km である。

【0057】図12(b)に示す屈折率プロファイルは、石英ガラスをベースとして、中心コア領域に GeO_2 を添加して比屈折率差 Δn_1 を $+1.62\%$ とし、第1コア領域にF元素を添加して比屈折率差 Δn_2 を -0.48% とし、第2コア領域に GeO_2 を添加して比屈折率差 Δn_3 を $+0.22\%$ とし、第3コア領域にCl元素を添加して比屈折率差 Δn_4 を $+0.02\%$ としたものである。この屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバの伝送損失は 0.35 dB/km である。

【0058】図12(c)に示す屈折率プロファイルは、石英ガラスをベースとして、中心コア領域に GeO_2 を添加して比屈折率差 Δn_1 を $+1.60\%$ とし、第1コア領域にF元素を添加して比屈折率差 Δn_2 を -0.50% とし、第2コア領域に GeO_2 を添加して比屈折率差 Δn_3 を $+0.20\%$ とし、第3コア領域を純シリカのままとし比屈折率差 Δn_4 を 0% としたものである。この屈折率プロファイルを有する分散補償光ファイバの伝送損失は 0.39 dB/km である。

【0059】図12(a)～(c)それぞれの場合の組成と伝送損失とを比較すると以下のことが言える。すなわち、分散補償光ファイバの伝送損失は、最外層の第3クラッド領域が純シリカである場合(図12(c))よりも、第3クラッド領域にCl元素を添加した場合(図12(b))の方が小さく、第3クラッド領域にF元素を添加した場合(図12(a))が最も小さい。また、最外層の第3クラッド領域にF元素を添加した場合にも伝送損失が小さくなる。これは以下の理由による。すなわち、光ファイバ母材を線引きして分散補償光ファイバを製造する際に、光ファイバ母材の大部分を占める最外層の粘度が下がり、これにより線引温度を比較的低温にすることができる。線引温度を低温にすると、熱的な損傷が小さく、中心コア領域に添加されている GeO_2 の熱分解により生じる GeO 等の欠陥が減少し、これにより伝送損失が低減される。特に、最外層の第3クラッド領域にF元素を添加した場合には、光パワーの多くが伝送する中心コア領域における GeO_2 添加量が低減されるので、この点でも伝送損失が低減される。

【0060】次に、本実施形態に係る光伝送路を含む光伝送システムの他の構成について説明する。図13は、本実施形態に係る光伝送路を含む光伝送システムの他の構成の概略構成図である。この図に示す光伝送システム3は、図1に示した光伝送システム1における局20内にラマン増幅用励起光源23および光カプラ24を備え

る。ラマン増幅用励起光源23はラマン増幅用励起光を出力し、光カプラ24は、ラマン増幅用励起光源23から出力されたラマン増幅用励起光を分散補償光ファイバ32へ供給する。信号光が波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯域のものであれば、ラマン増幅用励起光の波長は $1.45\mu\text{m}$ 程度である。

【0061】この光伝送システム3では、局10から送出された波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の多波長の信号光は、分散シフト光ファイバ31および分散補償光ファイバ32を順に伝搬して局20に到達し、局20において光カプラ24を通過して受信され、或いは、局20において光増幅されて更に下流に送出される。また、分散補償光ファイバ32にラマン増幅用励起光が供給されていることにより、信号光は分散補償光ファイバ32を伝搬する際にラマン増幅される。

【0062】一般に、分散シフト光ファイバと比べると分散補償光ファイバの非線形性は大きい。そこで、この光伝送システム3のように、非線形性が比較的大きい分散補償光ファイバ32にラマン増幅用励起光を供給することにより、広帯域の信号光を効率よくラマン増幅することができる。

【0063】次に、本実施形態に係る分散補償光ファイバの更に好適な態様について説明する。図14は、本実施形態に係る分散補償光ファイバの断面図である。この図に示す分散補償光ファイバ32は、好適例として図3に示した屈折率プロファイルにおいて、中心コア領域32a、第1クラッド領域32bおよび第2クラッド領域32cを挟んで、最外層の第3クラッド領域32d内に、伝搬する光の偏波状態を保持する偏波保持手段として2つの応力付与部32eが設けられたものである。応力付与部32eは、例えば $\text{B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ からなり、長手方向に連続して設けられている。この応力付与部32eは、分散補償光ファイバ32に非等方向的応力を与えて複屈折を生じさせ、これにより、伝搬する光の偏波状態を保持する。このような応力付与部32eを設けることにより、分散補償光ファイバ32を伝搬する信号光の偏波面で生じるランダムなカップリングを抑制することができるので、信号光の伝送品質の劣化を抑制することができる。

【0064】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、波長 1550 nm において波長分散 D_{DCF} (単位: ps/nm/km) および分散スロープ S_{DCF} (単位: $\text{ps/nm}^2/\text{km}$) が

$$-250 \leq D_{DCF} \leq -40$$

$$0.015 \leq S_{DCF}/D_{DCF} \leq 0.030$$

なる関係式を満たすものである。このような特徴を有することにより、本発明に係る光ファイバは、波長 1550 nm を含む広い波長帯域で、分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを短尺で補償することがで

きる。

【0065】また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて実効断面積が $13\mu\text{m}^2 \sim 17\mu\text{m}^2$ である場合には、四光波混合の発生を抑制し、伝搬する信号光の波形の劣化を抑制することができ、また、曲げ損失が小さくなるので、ケーブルとしてもモジュール、としても使用することができる。また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて実効断面積が $17\mu\text{m}^2 \sim 20\mu\text{m}^2$ である場合には、信号光の波形の劣化を充分に抑制することができ、また、モジュールとして使用することができる。また、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおいて実効断面積が $20\mu\text{m}^2$ 以上である場合には、信号光の波形の劣化を更に充分に抑制することができる。この光ファイバは、曲げ損失が発生し難い特殊な構造のモジュール、例えば、曲げ径が比較的大きいコイルに収納されたモジュールや、心棒を有することなく巻かれて樹脂が充填されて固定されたモジュールに使用され得る。

【0066】また、本発明に係る光ファイバは、カットオフ波長が $1.2\mu\text{m} \sim 1.8\mu\text{m}$ であるのが好適であり、また、波長1550nmにおいて伝送損失が 0.5dB/km 以下であるのが好適である。この場合には、従来のものよりカットオフ波長が長いことから、曲げ損失の増大を抑制することができ、さらに、伝送損失の数値範囲が上記のとおりであることと相俟って、ケーブル化またはモジュール化した場合であっても低損失となる。

【0067】また、本発明に係る光ファイバは、第1の屈折率を有する中心コア領域と、この中心コア領域を取り囲み第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する第1クラッド領域と、この第1クラッド領域を取り囲み第2の屈折率より大きい第3の屈折率を有する第2クラッド領域と、この第2クラッド領域を取り囲み第3の屈折率より小さい第4の屈折率を有する第3クラッド領域とを有するのが好適である。また、最外層の領域の屈折率を基準としたときの中心コア領域の屈折率差が $0.8\% \sim 2.0\%$ であるのが好適であり、また、最外層の領域の屈折率を基準としたときの第1クラッド領域の屈折率差が -0.4% 以下であるのが好適である。これらの場合には、上記特性を有する光ファイバを実現する上で好適である。また、本発明に係る光ファイバは、各領域の外径の比が一定に保たれたまま中心コア領域の外径の2%の変化に対して比 $(S_{\text{DCF}}/D_{\text{DCF}})$ の変化が10%以下であるのが好適であり、この場合には、所望の波長分散特性を有する光ファイバを製造することが容易である。

【0068】また、本発明に係る光ファイバは、最外層の領域はP元素、P元素およびCl元素の何れかが添加された石英ガラスであるのが好適である。この場合には、光ファイバ母材を線引きして光ファイバを製造する

際に、光ファイバ母材の大部分を占める最外層の粘度が下がり、これにより線引き温度を比較的低温にすることができ、光ファイバの伝送損失を低減することができる。

【0069】また、本発明に係る光ファイバは、伝搬する光の偏波状態を保持する偏波保持手段を有するのが好適であり、この場合には、光ファイバを伝搬する信号光の偏波面で生じるランダムなカップリングを抑制することができるので、信号光の伝送品質の劣化を抑制することができる。

【0070】本発明に係る光伝送路は、波長1550nmにおいて波長分散が $+2\text{ps/nm/km} \sim +10\text{ps/nm/km}$ であり分散スロープが $+0.04\text{ps/nm}^2/\text{km} \sim +0.12\text{ps/nm}^2/\text{km}$ である分散シフト光ファイバと、この分散シフト光ファイバと接続された上記の本発明に係る光ファイバとが、中継区間に敷設されている。この光伝送路は、分散シフト光ファイバと上記光ファイバとが適切な長さ比で接続されることにより、波長1550nmにおいて、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均分散スロープの絶対値も小さい。これにより、この光伝送路は、波長1550nmを含む広い波長帯域で、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均伝送損失も小さい。

【0071】また、本発明に係る光伝送路は、光ファイバにラマン増幅用励起光を供給して、光ファイバを伝搬する信号光をラマン増幅するのが好適である。この場合には、上記光ファイバは、分散シフト光ファイバと比べると非線形性が大きいので、ラマン増幅用励起光が供給されることにより広帯域の信号光を効率よくラマン増幅することができる。

【0072】また、本発明に係る光伝送路は、波長1535nm \sim 1560nmで平均波長分散の偏差が $\pm 0.2\text{ps/nm/km}$ 以下であるのが好適である。この場合には、この光伝送路に信号光を伝搬させて光通信を行う光伝送システムでは、波長1550nmを含む広い波長帯域で、光伝送路の平均伝送損失が小さく、平均波長分散の絶対値も小さく、高ビットレート的光伝送が可能である。

【0073】本発明に係る分散補償モジュールは、上記の本発明に係る光ファイバがコイル状に巻かれてモジュール化されたものである。この光ファイバがモジュール化された分散補償モジュールは、中継区間に敷設された分散シフト光ファイバの波長分散および分散スロープを補償するものであって、分散シフト光ファイバと上記光ファイバとが適切な長さ比とされることにより、波長1550nmにおいて、全体の平均波長分散の絶対値が小さく、全体の平均分散スロープの絶対値も小さい。これにより、分散シフト光ファイバと分散補償モジュールとの全体は、波長1550nmを含む広い波長帯域で、平均波長分散の絶対値が小さくなり、平均伝送損失も小さ

い。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態に係る光伝送路を含む光伝送システムの概略構成図である。

【図2】光伝送路として分散シフト光ファイバが敷設され、分散補償光ファイバが分散補償モジュールとして局内に設けられた光伝送システムの概略構成図である。

【図3】本実施形態に係る分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの第1の好適例を説明する図である。

【図4】本実施形態に係る分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの第2の好適例を説明する図である。

【図5】本実施形態に係る分散補償光ファイバの屈折率プロファイルの第3の好適例を説明する図である。

【図6】各領域の外径の比を一定に保ったまま中心コア領域の外径 $2a$ を変化させたときの第1実施例の分散補償光ファイバの波長分散と分散スロープとの関係を示すグラフである。

【図7】各領域の外径の比を一定に保ったまま中心コア領域の外径 $2a$ を変化させたときの第2実施例の分散補償光ファイバの波長分散と分散スロープとの関係を示すグラフである。

【図8】各領域の外径の比を一定に保ったまま中心コア領域の外径 $2a$ を変化させたときの第3実施例の分散補

償光ファイバの波長分散と分散スロープとの関係を示すグラフである。

【図9】各実施例の分散補償光ファイバの曲げ径 140 mm での曲げ損失と波長との関係を示すグラフである。

【図10】各実施例の分散補償光ファイバの波長分散と波長との関係を示すグラフである。

【図11】各実施例の分散補償光ファイバと分散シフト光ファイバとを接続した光伝送路の波長分散と波長との関係を示すグラフである。

【図12】第1実施例の分散補償光ファイバの組成と屈折率プロファイルとの関係を説明する図である。

【図13】本実施形態に係る光伝送路を含む光伝送システムの他の構成の概略構成図である。

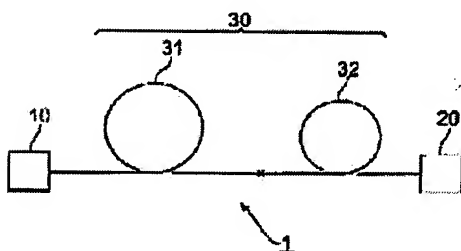
【図14】本実施形態に係る分散補償光ファイバの断面図である。

【図15】本実施形態に係る分散モジュールの構成図である。

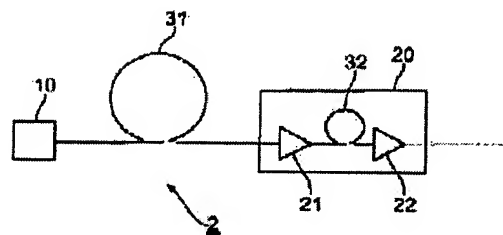
【符号の説明】

1、2、3…光伝送システム、10、20…局、21、22…光増幅器、23…ラマン増幅用励起光源、24…光カプラ、30…伝送路、31…分散シフト光ファイバ、32…分散補償光ファイバ。

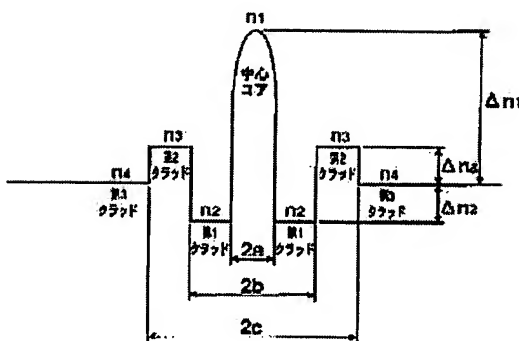
【図1】



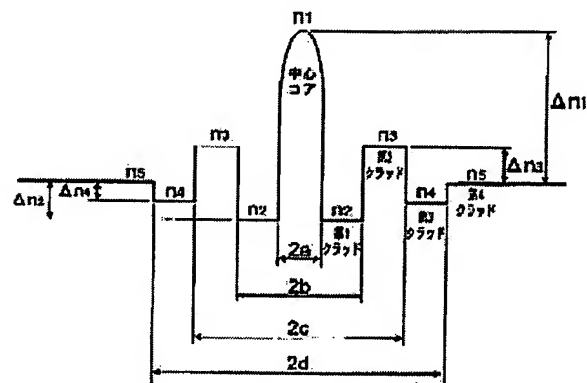
【図2】



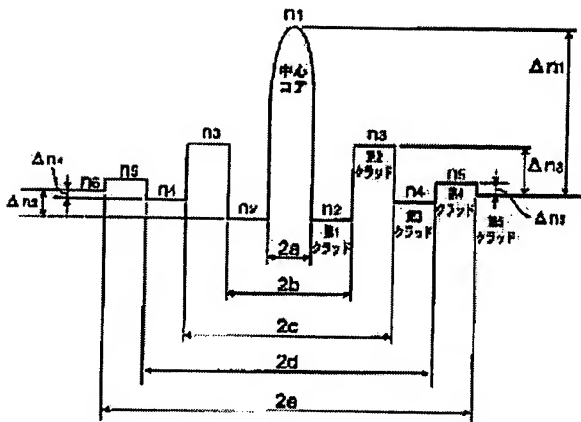
【図3】



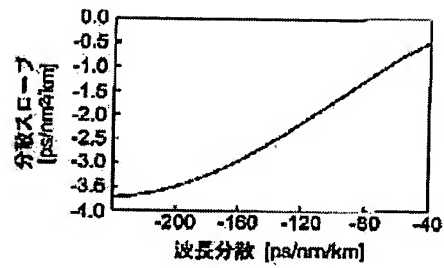
【図4】



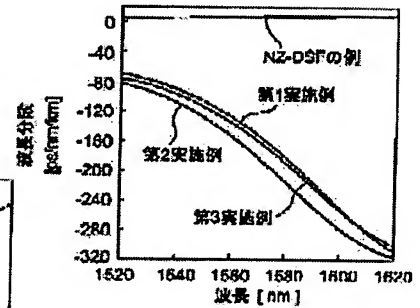
【図5】



【図6】

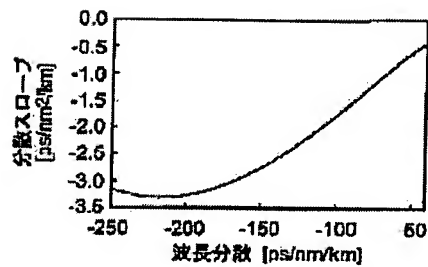


【図10】

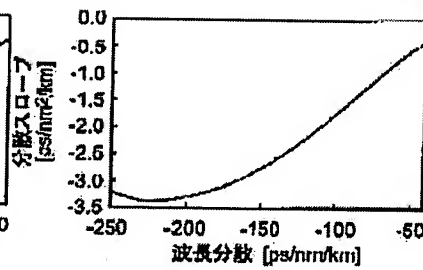


【図14】

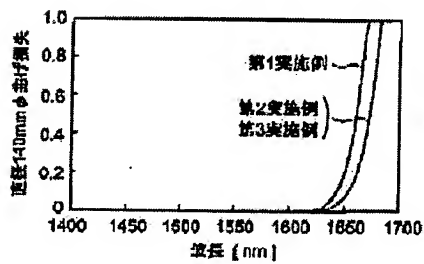
【図7】



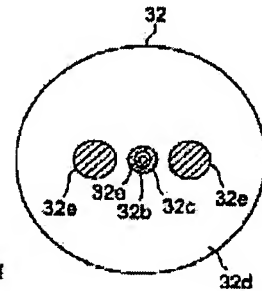
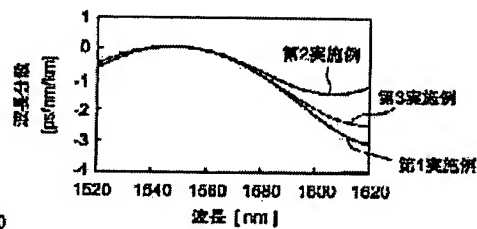
【図8】



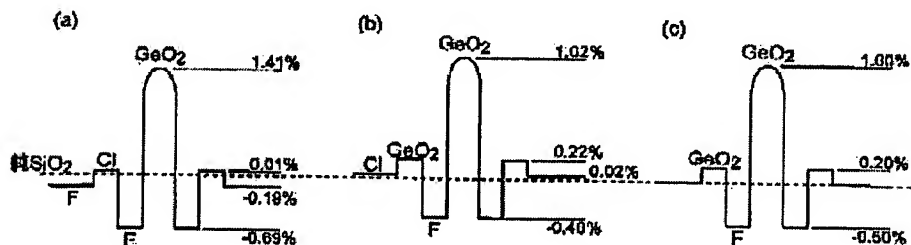
【図9】



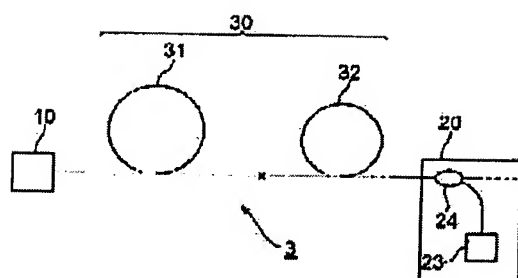
【図11】



【図12】



【図13】



【図15】

